Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 187- 204

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص. ۲۰۴-۱۸۷

مقاله علمی- پژوهشی

تولید و ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی شورتنینگ کم‌اشباع با استفاده از تکنیک اورگانوژل‌سازی، مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر

راحله محجوب[۱]- وحید حکیم‌زاده[۲]*- اسماعیل عطای صالحی[۳]- جمشید فرمانی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

چکیده

در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل‌سازی مبتنی بر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر به‌منظور تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شده است. بدین‌منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و ۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به‌طوری‌که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژلاتورهای مورد استفاده ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر می‌باشند که در ۶ نسبت دوتایی (۰- ۱۰۰)، (۲۰- ۸۰)، (۴۰- ۶۰)، (۶۰- ۴۰)، (۸۰- ۲۰) و (۱۰۰- ۰) مخلوط و در سه غلظت ۳ ، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) به ترکیب روغن اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اسیدهای چرب اشباع شده، نقطه ذوب لغزشی، محتوای چربی جامد و مقاومت اکسایشی نمونه‌ها با افزایش نسبت اولئوژل‌ها از ۳ به ۹٪ افزایش یافته است. مقادیر عدد پراکسید و اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌های مختلف تولید شده که به روغن افزوده شدند، تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در تمامی اولئوژل‌ها، مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص شبه جامد بیشتری بودند. اولئوژل‌های تهیه شده با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. نتایج بررسی زاویه فاز اولئوژل‌ها در تطابق با یافته‌های مدول الاستیک بود و نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع گونه را دیرتر ظاهر ساختند. بررسی پتانسیل کاربردی اولئوژل‌های تولیدی مشخص نمود که آن‌ها در تولید مارگارین‌های نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره مناسب می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: شورتنینگ کم‌اشباع، اولئوژل، مونوآسیل گلیسرول، پلی‌گلیسرول استر، خصوصیات فیزیکوشیمیایی، خصوصیات رئولوژیک

مقدمه

شورتنینگ[۴] اصطلاحی است که سابقاً برای توصیف چربی‌های جامد به‌واسطه‌ی خاصیت تردکنندگی در فراورده‌های آردی- تنوری به‌کار می‌رفت. امروزه، انواع شورتنینگ‌ها با کاربردهای متنوع تولید و مصرف می‌شوند و خصوصیات کریستالی و طیف ذوبی آن‌ها می‌تواند بر ساختار، پایداری، ماندگاری و همچنین خصوصیات حسی فراورده‌های غذایی تأثیرگذار باشد (Jirasubkunakorn *et al*., 2006). بدون شورتنینگ در نان وشیرینی‌ها، گلوتن و نشاسته به‌صورت ذرات چسبنده به یکدیگر متصل می‌شوند و هنگام جویدن احساس سفتی را ایجاد می‌نمایند. اما با حضور شورتنینگ، چربی اتصال بخش‌های پروتئینی و ساختار نشاسته را کم می‌کند که این عمل منجر به نرم‌شدن ذرات گلوتن و در نتیجه تولید محصول نرم و با قابلیت هوادهی مناسب می‌شود. همچنین شورتنینگ نقطهی ذوب بالاتری نسبت به کره و روغن‌های حیوانی دارد و همین امر سبب می‌شود نقطه ذوب بستنی و خامه‌ی قنادی بالاتر رود و این محصول در فصل تابستان دیرتر ذوب شود (Metzroth *et al*., 2004). مهم‌ترین روش تولید شورتنینگ‌ها در صنعت، فرآیند هیدروژناسیون بود. طبق بررسی سازمان غذا و داروی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران.
۴- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i2.86529
4 Shortening

آمریکا مصرف محصولات حاوی روغن‌های نباتی هیدروژنه منبع عمده دریافت اسیدهای چرب ترانس (۷۹/۴٪) در رژیم غذایی هستند. از سوی دیگر، با توجه به این‌که مصرف اسیدهای چرب اشباع نیز یکی از ریسک فاکتورهای ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی می‌باشد، تلاش‌های گسترده‌ای در سراسر دنیا جهت کم‌کردن اسیدهای چرب اشباع در چربی‌های خوراکی در حال انجام است (Tarrago-Trani *et al.*, 2006). به‌دلیل تشکیل اسیدهای چرب ترانس در اثر این فرایند که باعث افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی می‌شوند، از ماه ژوئن سال ۲۰۱۸، روغن‌های هیدروژنه نسبی از فهرست GRAS خارج شد. امروزه استفاده از فرایند هیدروژناسیون تنها محدود به تولید روغن‌های گیاهی کاملاً هیدروژنه (که فاقد اسیدهای چرب ترانس می‌باشند) به‌منظور استفاده از آن‌ها به‌عنوان جزء جامد در تولید مارگارین‌ها و شورتنینگ‌ها می‌باشد. با این‌حال، اعمال این محدودیت‌ها (حذف اسیدهای چرب ترانس) و کم‌کردن اسیدهای چرب اشباع بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی چربی‌ها تأثیر فراوانی دارد. از این‌رو یکی از چالش‌های فعلی صنعت روغن تولید چربی‌هایی فاقد اسیدهای چرب ترانس و حاوی کم‌ترین سطح اسیدهای چرب اشباع، اما در عین حال ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و کاربردی مناسب می‌باشد. لذا امروزه از روش‌های مختلفی برای کاهش مقادیر اسیدهای چرب اشباع و ترانس در محصولات مبتنی بر چربی استفاده می‌شود. این تکنیک‌ها شامل ترکیب برخی از چربی‌ها، استری‌شدن و اخیراً سیستم اولئوژل است (Gaudino *et al.*, 2019).

اورگانوژل‌ها سیستم‌های شبه جامدی هستند که بر اساس ژله‌ای شدن محلول‌های آلی توسط ترکیباتی با وزن مولکولی پایین یا درشت مولکول‌های محلول در فاز روغنی ایجاد می‌شوند. در صورتی‌که محلول آلی روغن خوراکی باشد به سیستم ایجاد شده اولئوژل گویند. یک اولئوژل‌ساز از به دام افتادن روغن در یک شبکه ژلی سه بعدی حاصل می‌شود. مکانیسم تشکیل شبکه ژل اولئوژل در محلول‌های آلی شباهت زیادی به هیدروژل‌ها در محلول‌های آبی دارد. در اولئوژل‌های لیپیدی برای رسیدن به ساختار ژل، پس از پراکنده شدن اولئوژل‌ساز در فاز روغنی، سول تشکیل می‌شود که با سردکردن عمل هسته‌زایی در رشد کریستال‌ها اتفاق می‌افتد که باعث ایجاد شبکه‌های خود مونتاژکننده می‌شود. از انواع ژل‌سازهای آلی می‌توان به دی‌آسیل گلیسرول، اسیدهای چرب آزاد، هیدروکسی استئاریک اسید و مونوآسیل گلیسرول اشاره نمود (Lupi *et al.*, 2013).

در میان ژل‌سازهای آلی، مونوآسیل گلیسرول بیشتر مورد توجه قرار دارد زیرا علاوه بر ویژگی اورگانوژل‌سازی دارای خواص مفید تغذیه‌ای مانند کاهش سطح اسیدهای چرب آزاد و تری‌آسیل گلیسرول و هچنین انسولین در خون نیز می‌باشد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده شامل ۹۰ تا ۹۵ درصد ۱-مونوآسیل گلیسرول، ۳ تا ۵ درصد ۲-مونوآسیل گلیسرول، ۲ تا ۴ درصد دی‌آسیل گلیسرول و کم‌تر از ۱ درصد گلیسرول و اسید چرب آزاد می‌باشد و در اثر استریفیکاسیون روغن‌های گیاهی یا حیوانی با مولکول گلیسرول به‌دست می‌آید. پلی گلیسرول استرها از استریفیکاسیون پلی‌گلیسرول با اسیدهای چرب تولید می‌شوند. این اولئوژلاتورها غیریونی بوده و دارای خاصیت آمفولیوفیلیک می‌باشند (Gaudino *et al.*, 2019). از کاربردهای اولئوژلاسیون می‌توان به تولید محصولاتی نظیر بستنی، پنیر و محصولات قنادی که در فرآیند تولیدشان از چربی‌های اشباع به‌منظور دست‌یابی به بافت سخت مورد نظر استفاده می‌شود، اشاره کرد که این ترکیبات قادر به فراهم کردن بافت مناسب این محصولات بدون بالا بردن محتوای اسیدهای چرب اشباع و ترانس در آن‌ها می‌باشند (Krog, 2001). Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که با افزایش میزان مونوآسیل گلیسرول در روغن پالم، بلورینه شدن آن می‌تواند حتی در دماهای بالاتری نیز رخ دهد. علاوه بر اثری که مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکی روغن‌های خوراکی می‌گذارد، تا حدودی نیز قادر به تغییر خصوصیات شیمیایی نظیر فساد اکسایشی می‌باشد که البته در این زمینه نتایج به‌دست آمده ضد و نقیض است. بر اساس نتایج Maruyama و همکاران (۲۰۱۴) در چربی‌های حاوی مونوآسیل گلیسرول رفتار بلورینه شدن چربی بستگی به نوع مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته شده دارد. نوع مونوآسیل گلیسرول علاوه بر نوع بلور بر میزان بلور نیز اثرگذاراست. Yilmaz و همکاران (۲۰۱۴) اولئوژل‌های روغن زیتون بکر با مونوگلیسیرید و موم کارنوبا تهیه کردند. ظرفیت باند شدن با روغن در الئوژل تهیه شده با مونوگلیسیرید بیشتر از اولئوژل تهیه شده با موم کارنوبا بود. تصاویر میکروسکوپ نور پلاریزه نشان داد اولئوژل موم کارنوبا کریستال‌های میله‌ای و کریستال‌های اولئوژل مونوگلیسیرید بوته‌ای شکل بودند. Jang و همکاران (۲۰۱۵) اولئوژل روغن کانولا تولید شده با استفاده از موم کاندلیا را به‌عنوان جایگزین شورتنینگ در فرآورده‌های قنادی بررسی کردند. اولئوژل‌های تولید شده دارای سختی کمتری در دمای اتاق نسبت به شورتنینگ بودند. با افزایش غلظت موم به روغن، ویسکوزیته به شدت افزایش یافت. با جایگزینی اولئوژل با شورتنینگ در فرمولاسیون خمیر شیرینی، پارامترهای ویسکوالاستیک کاهش یافت. نادری و همکاران (۱۳۹۴) اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی روغن آفتابگردان را بررسی کردند. نمونه‌های اولئوژل ساخته شده با استفاده از مونوآسیل گلیسرول، درصد اسیدهای چرب اشباع، نقطه ذوب، درصد چربی جامد، مدول ذخیره و مدول افت بالاتر و عدد یدی و زمان مقاومت به بلورینه شدن کم‌تر داشتند. اولئوژل‌های حاوی ۵ درصد مونوآسیل گلیسرول اگرچه بر مقاومت اکسایشی بی‌تأثیر بود، با این‌حال پس از ۱۴ روز نگهداری در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد عدد پراکسید و درصد اسید چرب آزاد بالاتری داشتند. Yi و همکاران (۲۰۱۷) خصوصیات فیزیکوشیمیایی و پایداری اکسیداتیو اولئوژل روغن کانولای تهیه شده با موم کارنوبا و اولئوژل روغن هسته انگور با موم زنبور عسل را مورد ارزیابی قرار دادند.

با افزایش غلظت موم‌ها از ۵ تا ۱۵ درصد آنتالپی کریستالیزاسیون و نقطه ذوب افزایش یافت. شاخص‌های رنگی نیز تغییرات معنی‌داری کرد. پایداری اکسیداتیو اولئوژل موم کارنوبا بیشتر از اولئوژل موم زنبور عسل نمونه شاهد بود.

با توجه به اثر مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استرها بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و پایداری روغن‌ها، در پژوهش حاضر به بررسی امکان تولید شورتنینگ‌های بدون ترانس با استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر به‌عنوان امولسیفایر ساختار دهنده در ترکیب روغن پالم استئارین و روغن کلزا که تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

روغن کلزا تصفیه شده و روغن پالم استئارین از شرکت پرتودانه خزر (بهشهر، مازندران، ایران) تهیه شد. مونوآسیل گلیسرول تقطیر شده و پلی‌گلیسرول استر با خلوص ۹۵٪ از شرکت Sunilia (تهران، ایران) و مواد شیمیایی از شرکت مرک آلمان تهیه شدند.

آماده‌سازی اولئوژل‌ها

در ابتدا، یک مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد. انتخاب نسبت روغن‌ها براساس ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های اولیه انجام شد، به‌طوری‌که، در ترکیب نهایی بعد از فرمولاسیون روغن‌ها درصد اسیدهای چرب اشباع از ۲۰٪ تجاوز نکند. اورگانوژلاتورهای مورد استفاده در این پژوهش شامل ترکیب مونوآسیل گلیسرول[1] (MAG) و پلی‌گلیسرول استر[2] (PGE) بودند که در ۶ نسبت دوتایی (۰- ۱۰۰)، (۲۰- ۸۰)، (۴۰- ۶۰)، (۶۰-۴۰)، (۸۰- ۲۰) و (۱۰۰- ۰) ترکیب شدند.

برای تهیه اولئوژل، ابتدا ترکیب روغن پالم استارین و روغن کلزا با نسبت ۸۰ به ۲۰، تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و سپس، مخلوط دوتایی اولئوژلاتور (PGE:MAG) در غلظت‌های ۳ ، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) و در نسبت‌های فوق الذکر، به آن اضافه شدند. اولئوژل‌های آماده شده به‌مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه هم‌زده شدند. سرانجام، چربی‌های مبتنی بر PGE: MAG تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد سرد شده و برای استفاده‌های بعدی در یخچال نگهداری شدند (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

آنالیز ترکیب اسیدهای چرب با کروماتوگرافی گازی

آماده‌سازی متیل استر اسیدهای چرب طبق روش شماره AOCS Ce 2-66 و آنالیز آن‌ها با دستگاه گاز کروماتوگرافی (PerkinElmer، ۱۰۲۰، آمریکا) مجهز به آشکارساز یونیزاسیون شعله و ستون مویینه CP Si1 88 FS با طول، قطر و ضخامت داخلی به‌ترتیب ۱۰۰ متر، ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۲ میکرومتر بر طبق روش شماره Ce 1e-AOCS 91 انجام گردید .هلیوم به‌عنوان گاز حامل با فشار ۲۰ پاسکال (خلوص ۹۹/۹ درصد) استفاده گردید. مقدار تزریق نمونه ۱ میکرولیتر و دمای آون °C ۱۹۰و دمای تزریق کننده و آشکارساز °C۲۵۰ بود (نادری و همکاران، ۲۰۱۸).

اندازه‌گیری نقطه ذوب لغزشی (SMP)[3]

نقطه ذوب لغزشی به روش لوله موئین باز AOCS Cc 3- 25 انجام شد (AOCS, 1996). نمونه‌ها تا °C۱۰ بالاتر از نقطه ذوبشان مـایع و سـپس لولـه مویین در داخل ظرف نمونه فرو برده شـد تـا روغـن حـدود ۱ سانتی‌متر از لوله مویین بالا برود. جداره بیرونـی لولـه مـویین حاوی نمونه با پنبه پاک گردید و سریعاً در بن مـاری آب یخ فرو برده شد تا روغن جامد شود. سپس نمونه‌ها بـه مـدت ۱۶ ساعت در دمای 1°C ±۶ قرار گرفـت. پـس از گذشـت ایـن زمان، لوله مویین‌ها بـه دماسـنج متصـل و در یـک بشـر ۶۰۰ میلی‌لیتری که حاوی آب با دمای حداقل °C ۱۰ کم‌تر از نقطه ذوب احتمالی نمونه، قرار داده شد. زمـانی کـه اولـین لغـزش چربی به سمت بالا در لوله مویین مشاهده گردیـد، بـه‌عنـوان نقطه ذوب نمونه در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری محتوای چربی جامد (SFC)[4]

درصد محتوای چربی جامد نمونه ها با استفاده از دستگاه رزونانس مغناطیس هسته‌ای متناوب[5] (Minispec- mq20، آلمان) طبق روش مستقیم AOCS 16b- 93 اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). نمونه ها در دمای °C۱۰۰ ذوب شد و قبل از اولین اندازه‌گیری به مدت ۶۰ دقیقه در حمام یخ (صفر درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت و در دمای صفر درجه سانتی‌گراد میزان چربی جامد نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. بعد از آن هر یک از نمونه‌ها به‌طور مجزا به‌مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس اندازه‌گیری میزان چربی جامد بر روی هر کدام از نمونه‌ها در دماهای مورد نظر انجام شد.

آزمون رنسیمت

زمان مقاومت اکسایشی (دوره القای اکسایش) با استفاده از دستگاه Rancimat Methrom مدل ۷۴۳ اندازه‌گیری شد. ۲/۵ گرم نمونه در

1 Monoacylglycerols (MAG)
2 Polyglycerol ester (PGE)
3 Slip Melting Point (SMP)
4 Solid Fat Content (SFC)
5 Pulsed Nuclear Magnetic Resonance (PNMR)

دمای 110°C، با سرعت جریان هوای ۲ میلی‌لیتر در دقیقه به روش AOCS cd 12b-92 مورد آزمایش قرار گرفت (AOCS, 1996).

ظرف شیشه‌ای مابین آزمایش‌ها به‌خوبی تمیز می‌شدند تا از هر گونه آلودگی که منجر به پیش اکسیداسیون روغن شود، جلوگیری شود. لوله‌ها با جوشانده شدن در محلول سدیم هیدروکسید ۲٪ به مدت یک ساعت و سپس سرد شدن و فرو بردن در محلول هیدروکلریدریک اسید و در پایان شستن با آب مقطر، تمیز شدند. لوله‌ها، الکترودها و اتصالات چندین بار با اتانول و آب مقطر شسته و قبل از انجام آزمایش گاز نیتروژن بر آن‌ها دمیده شد.

اندازه‌گیری عدد پراکسید

مقدار پراکسید با استفاده از روشAOCS CD 8-23 اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). ۵ گرم از نمونه روغن را در ارلـن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری وزن نموده و ۲۵ میلی‌لیتر حلال پراکسید (۳ حجم اسید استیک+ ۲ حجم کلروفرم) و ۱ میلی‌لیتر محلـول یدور پتاسیم اشباع به آن اضافه شد. مخلوط به‌مدت ۱ دقـیقه در جـای تاریک قرار داده و گاه‌گاهی به‌هم زده شد. سپس به آن ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر معرف چسب نشاسته اضافه گردید. سپس با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا از بین رفتن رنگ آبی تیتر شد. آزمایش شاهد (بدون نمونه) نیز انجام گردید.

تعیین درصد اسیدهای چرب آزاد (FFA)[1]

اسیدهای چرب آزاد مطابق با روش AOCS Ca 5a-40، اندازه‌گیری شد (AOCS, 1996). مقدار ۲۸/۲ گرم از نمونه توزین شده و ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر معرف فنل‌فتالئین (محلول یک درصد وزنی- حجمی در اتانول ۹۵ درصد) اضافه شد. لازم به ذکر است که اتانول مصرفی قبلاً در حضور فنل فتالئین باسود ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی کم‌رنگ خنثی گردید و اسیدهای چرب آزاد (بر حسب اولئیک) آن با محلول سود ۰/۱ نرمال در حـضور فنل فتالئین تیتر شد و محاسبه گردید.

تعیین ویژگی‌های رئولوژیکی

این آزمون‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر (آنتون پار-اتریش) در تنش و کرنش یکسان و تغییر دما از دمای 5 تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد به‌منظور مشاهده خصوصیات ویسکوالاستیک (مدول افت (G″) ، مدول ذخیره (G′) و زاویه فاز (G*) انجام شد (نادری و همکاران، ۲۰۱۶).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام و نتایج آن‌ها به‌صورت میانگین همراه با انحراف معیار گزارش شد. مقایسه میانگین‌ها از طریق آزمون آنالیز واریانس یک طرفه در سطح اطمینان $p < 0.05$ و با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 (شیکاگو، آمریکا) انجام شد.

نتایج و بحث

خواص فیزیکوشیمیایی

پروفایل اسیدهای چرب

ترکیب اسیدهای چرب موجود روغن ترکیبی پالم استئارین وکلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰) و اولئوژل‌های تولیدی در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاده می‌شود، اسید چرب غالب در روغن ترکیبی پالم استئارین وکلزا (با نسبت ۲۰ به ۸۰)، اولئیک اسید و در اولئوژلاتورها، پالمیتیک اسید می‌باشد.

در جدول۲ ترکیب اسیدهای چرب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که ترکیب اسیدهای چرب روغن‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) تفاوت معنی‌داری با هم دارند ($P<0.05$). با این‌حال، نسبت MAG به PGE تأثیری بر ترکیب اسیدهای چرب نداشته است ($P>0.05$).

جدول ۱- ترکیب درصد اسیدهای چرب روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا و اولئوژلاتورهای مورد استفاده

نوع روغن یا الئوژلاتور	SFA%	C18:3%	C18:2%	C18:1%	C18:0%	C16:0%
PS20: R80	۱۸/۹۸	۶/۵۳	۱۹/۸۵	۵۱/۹۴	۳/۱۳	۱۵/۸۵
PGE	۹۶/۹	-	–	۰/۲۳	۳۶/۸	۶۰/۱
MAG	۹۶/۸	-	–	۰/۷	۳۹/۶	۵۷/۲

PS20: R80: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا؛ PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول

C16:0:پالمیتیک اسید؛ C18:0: استاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولنیک اسید. SFA: اسیدهای چرب اشباع

1 Free Faty Acids (FFA)

به عبارت دیگر، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول و هم‌چنین کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر در اولئوژلاتورها، ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان نداد (P>0.05). دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۶٪ و از ۶ به ۹٪ (وزنی/ وزنی) ترکیب اسیدهای چرب تفاوت معنی‌داری نشان می‌دهد (P<0.05). در این خصوص، مقادیر اولئیک اسید از ۵۰٪ در سطح ۳٪ به ۴۷٪ در سطح ۹٪ کاهش یافت. همچنین، با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۹٪ (وزنی/ وزنی)، درصد استئاریک اسید و پالمیتیک اسید افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، با افزایش سطح اولئوژلاتور از ۳ به ۹٪ در روغن، SFA افزایش نشان داد (P<0.05).

جدول ۲- ترکیب درصد اسیدهای چرب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	C16:0٪	C18:0٪	C18:1٪	C18:2٪	C18:3٪	٪SFA
۱		۱۰۰	۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۲		۸۰	۲۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۳		۶۰	۴۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
٤	۳درصد	۴۰	۶۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۱±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
٥		۲۰	۸۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۲±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
٦		۰	۱۰۰	۱۷/۲±۰/۱^{c}	۴/۲±۰/۱^{c}	۵۰/۳±۰/۱^{a}	۱۹/۲۵±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۲۲±۰/۱^{c}
۷		۱۰۰	۰	۱۸/۵±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۸		۸۰	۲۰	۱۸/۵±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۹		۶۰	۴۰	۱۸/۴±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۰	۶درصد	۴۰	۶۰	۱۸/۴±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۱		۲۰	۸۰	۱۸/۳±۰/۱^{b}	۵/۲±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۲		۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۱^{b}	۵/۳±۰/۱^{b}	۴۸/۸±۰/۱^{b}	۱۸/۶±۰/۱^{ab}	۶/۱۳±۰/۱^{ab}	۲۴/۴±۰/۱^{b}
۱۳		۱۰۰	۰	۱۹/۸±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
١٤		۸۰	۲۰	۱۹/۸±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
١٥		۶۰	۴۰	۱۹/۷±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
١٦	۹درصد	۴۰	۶۰	۱۹/۷±۰/۱^{a}	۶/۲±۰/۱^{a}	۴۷/۲±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱۷		۲۰	۸۰	۱۹/۶±۰/۱^{a}	۶/۳±۰/۱^{a}	۴۷/۳±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}
۱۸		۰	۱۰۰	۱۹/۵±۰/۱^{a}	۶/۴±۰/۱^{a}	۴۷/۳±۰/۱^{b}	۱۸/۰۶±۰/۱^{b}	۵/۹±۰/۱^{b}	۲۶/۸±۰/۱^{a}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح P<0.05 می‌باشد. PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول؛ C16:0: پالمیتیک اسید؛ C18:0: استئاریک اسید؛ C18:1: اولئیک اسید؛ C18:2: لینولئیک اسید؛ C18:3: لینولنیک اسید، SFA: اسیدهای چرب اشباع.

ویژگی‌های فیزیکی

نقطه ذوب لغزشی (SMP)[1]

نقطه ذوب دمایی است که در آن تغییرحالت ماده از جامد به مایع اتفاق می‌افتد. این پارامتر از ویژگی‌های بسیار مهم فیزیکی چربی‌ها است. چربی‌های طبیعی نقطه ذوب دقیقی ندارند، درحالی‌که مواد خالص دارای نقطه ذوب مشخص و تیزی می‌باشند. این تکنیک روش معمول برای تعیین نقطه ذوب چربی‌ها است. نقطه پایانی در این تکنیک به‌صورت عینی قابل تعیین می‌باشد (O'Brien, 2004). نتایج نقطه ذوب لغزشی اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با

1 Slip Meltig Point

نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در جدول ۳ ذکر شده است.

جدول ۳- نقطه‌ی ذوب اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	نقطه ذوب (°C)
PS20: R80 (شاهد)	–	–	–	۳۹/۵±۰/۶[f]
۱	۳ درصد	۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶[ef]
۲		۸۰	۲۰	۴۰±۰/۶[ef]
۳		۶۰	۴۰	۴۰±۰/۶[ef]
٤		۴۰	۶۰	۴۰±۰/۶[ef]
٥		۲۰	۸۰	۴۰±۰/۶[ef]
٦		۰	۱۰۰	۴۰±۰/۶[ef]
۷	۶ درصد	۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶[ef]
۸		۸۰	۲۰	۴۰/۵±۰/۶[de]
۹		۶۰	۴۰	۴۰/۵±۰/۶[de]
۱۰		۴۰	۶۰	۴۰/۵±۰/۶[de]
۱۱		۲۰	۸۰	۴۱±۰/۶[cd]
۱۲		۰	۱۰۰	۴۲±۰/۶[b]
۱۳	۹ درصد	۱۰۰	۰	۴۰±۰/۶[ef]
١٤		۸۰	۲۰	۴۱±۰/۶[cd]
١٥		۶۰	۴۰	۴۱±۰/۶[c]
١٦		۴۰	۶۰	۴۱±۰/۶[c]
۱۷		۲۰	۸۰	۴۲±۰/۶[b]
۱۸		۰	۱۰۰	۴۳±۰/۶[a]

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری در سطح $P<0.05$ می‌باشد. PS20: R80 مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا. PGE ؛ پلی‌گلیسرول استر؛ MAG : مونوآسیل گلیسرول.

نتایج ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف افزوده شده اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) به روغن از نظر نقطه ذوب تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ($P<0.05$). همچنین، تفاوت معنی‌داری در نقطه ذوب در سطوح یکسان افزوده‌شده اولئوژلاتور به روغن (به غیر از سطح ۳درصد) مشاهده شد ($P<0.05$). در این خصوص، اگرچه با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور از صفر به ۱۰۰ در سطح ۳ درصد، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید و نقطه ذوب تمامی اولئوژل‌های تولیدی $۴۰^{\circ C}$ بود، اما در سطوح ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) افزوده‌شده به روغن، چنین اثری مشاهده نشد. شایان ذکر است که در سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی)، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ نقطه ذوب اولئوژل‌ها از ۴۰ به $۴۳^{\circ C}$ افزایش یافت. این روند برای اولئوژل‌های تولید شده در سطح ۹ درصد وزنی/ وزنی نیز مشاهده شد و با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها از ۴۰ به $۴۳^{\circ C}$ رسید. یافته‌های مشاهده شده در این بخش می‌تواند به ساختار شیمیایی متفاوت اولئوژلاتورهای مورد استفاده نسبت داده شود. در این خصوص، شایان ذکر است که مونوآسیل گلیسرول از یک مولکول گلیسرول که دارای پیوند استری با یک مولکول اسید چرب است تشکیل شده و همچنین دارای ۲ گروه هیدروکسیلی آزاد (OH) می‌باشد. سوربیتان مونواستئارات و سوربیتان تری‌استئارات به‌جای الکل گلیسرول (در مونوآسیل گلیسرول) دارای ترکیب الکلی دیگری به نام سوربیتول (قند- الکل) هستند؛ با این تفاوت که در اولی همانند

مونوآسیل‌گلیسرول ۲ و در دومی هیچ گروه هیدروکسیلی آزادی وجود ندارد. همین امر نقطه عطفی است تا باعث تغییر در خواص عملکردی این ترکیبات گردد. در این زمینه، صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که گروه‌های هیدروکسیلی آزاد منجر به افزایش نقطه ذوب مولکول خواهد شد. به‌همین خاطر است که ترکیبات مونو و دی‌گلیسریدی نسبت به تری‌گلیسریدی دارای نقطه ذوب بالاتری هستند. یافته‌های به‌دست آمده در پژوهش حاضر نیز می‌تواند به همین امر نسبت داده شود. به عبارت دیگر، حضور بیشتر عوامل هیدروکسیلی آزاد در مونوآسیل گلیسرول و همچنین قطبیت بیشتر مولکول گلیسرول نسبت به سوربیتول باعث خواهد شد تا نقطه ذوب اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول از اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستئارات و سوربیتان تری‌استئارات بیشتر باشد. از سوی دیگر، اولئوژل‌های بر پایه سوربیتان مونواستئارات دارای نقطه ذوب بالاتری نسبت به سوربیتان تری استئارات هستند، که این مطلب همان‌طور که قبل‌تر ذکر گردید، به حضور گروه هیدروکسیلی آزاد در ساختار سوربیتان مونواستئارات مربوط است. نتایج به‌دست آمده در تطابق با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول بر چربی مرغ پرداختند بود. Pernetti و همکاران (۲۰۰۷) که به بررسی اثرژل‌سازی هم‌زمان سوربیتان مونواستئارات ولسیتین پرداختند، نیز نتایجی مشابه گزارش نمودند. آنان بیان نمودندکه این ترکیبات با نقطه ذوب ۴۰°C قادربه تشکیل شبکه ژلی در روغن‌ها بوده وافزودن لسیتین و سوربیتان مونواستئارات بانسبت وزنی ۴۰ به ۶۰ و ۶۰ به ۴۰ باعث افزایش نقطه ذوب نمونه‌ها می‌گردد.

محتوای چربی جامد (SFC)[1]

درصد SFC بیان‌گر مقدارکریستال‌های چربی درون مخلوط روغن‌ها و چربی‌ها در دماهای مختلف است. این شاخصه مسئول بسیاری از ویژگی‌های محصول ازجمله ظاهر عمومی، سهولت بسته‌بندی، خواص حسی و خصوصیات عملکردی روغن‌ها می‌باشد. در جدول ۴ نتایج درصد SFC در دمای ۱۰ تا ۳۵°C اولئوژل‌های روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ذکر شده است. نتایج ارزیابی آماری نشان می‌دهد که درصد SFC نمونه‌های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) با هم تفاوت معنی‌داری داشتند ($P<0.05$). همچنین، تفاوت معنی‌داری در سطوح یکسان افزوده‌شده اولئوژلاتور به روغن برای درصد SFC مشاهده شد ($P<0.05$). شایان ذکر است که اثر دما نیز بر مقادیر درصد SFC معنی‌دار بود ($P<0.05$). در این خصوص، با افزایش دما از ۱۰ به ۳۵°C، مقادیر درصد SFC کاهش یافت. دیگر نتایج حاکی از آن است که با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول از صفر به ۱۰۰ در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور در هر سطح و هر دما، درصد SFC افزایش یافت. نکته قابل توجه آن است که با افزایش سطح اولئوژلاتور افزوده‌شده به روغن از ۳ به ۹ درصد (وزنی/ وزنی)، درصد SFC اولئوژل‌ها در هر دمای ثابت افزایش بیشتری نشان داد. بدیهی است که با تغییرات دما از ۱۰ تا ۳۵°C، در اثر افزایش دما، درصد SFC اولئوژل‌ها کاهش یابد.

همان‌طور که در ارائه نتایج عنوان گردید، با افزایش سطح اولئوژلاتور در روغن از ۳ به ۹ درصد وزنی/ وزنی، مقادیر درصد SFC افزایش می‌یابد. افزایش درصد SFC به منزله مقادیر بیشتر کریستال‌های چربی (تراکم بیشتر کریستال‌های چربی) در هر دمای خاص است. همان‌طور که قبل‌تر در بررسی نتایج نقطه ذوب لغزشی نمونه‌ها عنوان گردید، اولئوژل‌های برپایه مونوآسیل گلیسرول دارای نقطه ذوب بالا هستند. همین روند در مقادیر درصد SFC اولئوژل‌های مذکور نیز دیده می‌شود. به عبارتی، با افزایش نقطه ذوب نمونه‌های اولئوژل، کریستال‌های چربی مقاومت بیشتری نسبت به افزایش دما نشان داده و به دنبال آن، مقادیر درصد SFC افزایش خواهد یافت. به عبارت دیگر، گروه‌های هیدروکسیلی بیشتر در مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش مقاومت حرارتی بیشتر خواهند شد. صابری و همکاران (۲۰۱۲) بیان داشتند روغن‌های برپایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای درصد SFC کمترازروغن‌های تری‌آسیل گلیسرول دردامنه دمایی ۵ تا ۱۰°C و درصد SFC بالاتر در دامنه دمایی بالاتر از ۲۰°C نشان می‌دهند. همچنین منحنی درصدSFC روغن‌های بر پایه مونو و دی‌آسیل گلیسرول دارای شیب کم‌تر و مسطح‌تراست که نشان‌دهنده یکنواختی ساختار آن در دامنه دمایی متفاوت بوده که به‌همین دلیل برای تولید مارگارین و شورتنینگ مناسب می‌باشد. شایان ذکر است، تغییرات در فرایند کریستالیزاسیون اولئوژل‌ها کاملاً وابسته به درصد SFC می‌باشد. یکی از پارامترهای مهم در مرحله تشکیل هسته‌های بلور در فرایند کریستالیزاسیون، زمان مقاومت به کریستالیزاسیون می‌باشد. زمان مقاومت، مدت زمانی است که طی آن هسته‌های اولیه بلور در یک سیستم چربی تشکیل گردد. زمان مقاومت به بلورینه‌شدن دارای رابطه عکس با سرعت هسته‌زایی می‌باشد. Martini و همکاران (۲۰۰۲) به اندازه‌گیری درصد SFC روغن پالمی که ابتدا به خامه اضافه و سپس از آن جدا شده بود پرداختند و نتایج نشان داد مونواستئارین و مونوپالمیتین منجر به افزایش نهایی درصد SFC در غلظت ۱ درصد (وزنی/ وزنی) در این روغن می‌گردند که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد که اثری که مونوآسیل گلیسرول می‌تواند بر روغن‌ها بگذارند به غلظتشان وابسته است. Basso و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی اثر (مونواستئارین و مونوپالمیتین) که ازروغن پالم کاملاً هیدروژنه به‌دست آمده بود،

1 Solid Fat Content

پرداختند. در این بررسی از مونوآسیل گلیسرول به‌منظور اصلاح فرایند کریستالیزاسیون روغن پالم استفاده شد که مشخص گردید این اولئوژلاتور قادر به کاهش زمان مقاومت به بلورینه شدن روغن پالم به‌طور معنی‌داری می‌گردد. همچنین آن‌ها قادر به تغییر رفتار پلی‌مورفیسم و ایجاد بلورهای بتا به‌جای بتا پریم هستند که به نوبه خود باعث کاهش هزینه فرآیند در محصولاتی نظیر شکلات می‌گردد. Verstringe و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر مونوپالمیتین بر روی رفتار بلورینه شدن روغن پالم پرداختند گزارش نمودند که با افزایش غلظت مونوآسیل گلیسرول، دمای کریستالیزاسیون افزایش یافته و به عبارتی در دمای بالاتری کریستالیزاسیون رخ می‌دهد. یافته‌های محققان فوق در تطابق با نتایج پژوهش حاضر بود.

جدول ٤- محتوای چربی جامد (SFC%) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در دماهای مختلف

تیمار	سطح (وزنی/وزنی)	اولئوژل PGE	اولئوژل MAG	۱۰ °C	۲۰ °C	۳۰ °C	۳۵ °C
شاهد (PSC)	–	–	–	۱۲/۴±۰/۲^{Fa}	۱۰/۸±۰/۲^{Fb}	۷/۳±۰/۲^{Gc}	۴/۷±۰/۲^{Fd}
۱		۱۰۰	۰	۱۲/۴±۰/۲^{Fa}	۱۰/۸±۰/۲^{Fb}	۷/۳±۰/۲^{Gc}	۴/۸±۰/۲^{Fd}
۲		۸۰	۲۰	۱۳/۳±۰/۲^{Ea}	۱۱/۶±۰/۲^{Eb}	۸/۳±۰/۲^{Fc}	۵/۶±۰/۲^{Ed}
۳		۶۰	۴۰	۱۴/۳±۰/۲^{Da}	۱۲/۳±۰/۲^{Db}	۹/۴±۰/۲^{Ec}	۶/۴±۰/۲^{Dd}
٤	۳ درصد	۴۰	۶۰	۱۵/۲±۰/۲^{Ca}	۱۲/۸±۰/۲^{Db}	۱۰/۱±۰/۲^{Dc}	۷/۵±۰/۲^{Cd}
۵		۲۰	۸۰	۱۵/۹±۰/۲^{Ca}	۱۳/۲±۰/۲^{Cb}	۱۰/۵±۰/۲^{Dc}	۸/۲±۰/۲^{Cd}
٦		۰	۱۰۰	۱۶/۳±۰/۲^{Ca}	۱۳/۷±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۸/۷±۰/۲^{Cd}
۷		۱۰۰	۰	۱۴/۶±۰/۲^{Da}	۱۲/۲±۰/۲^{Db}	۹/۰±۰/۲^{Ec}	۵/۳±۰/۲^{Ed}
۸		۸۰	۲۰	۱۵/۶±۰/۲^{Ca}	۱۳/۱±۰/۲^{Db}	۹/۶±۰/۲^{Dc}	۶/۲±۰/۲^{Ed}
۹	۶ درصد	۶۰	۴۰	۱۶/۴±۰/۲^{Ca}	۱۳/۹±۰/۲^{Cb}	۱۰/۴±۰/۲^{Dc}	۷/۶±۰/۲^{Dd}
۱۰		۴۰	۶۰	۱۷/۳±۰/۲^{Ba}	۱۴/۳±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۸/۴±۰/۲^{Cd}
۱۱		۲۰	۸۰	۱۷/۹±۰/۲^{Ba}	۱۵/۳±۰/۲^{Bb}	۱۱/۸±۰/۲^{Bc}	۹/۴±۰/۲^{Bd}
۱۲		۰	۱۰۰	۱۸/۳±۰/۲^{Ba}	۱۵/۷±۰/۲^{Bb}	۱۲/۶±۰/۲^{Cc}	۱۰/۳±۰/۲^{Ad}
۱۳		۱۰۰	۰	۱۷±۰/۲^{Ba}	۱۴/۳±۰/۲^{Cb}	۱۱/۱±۰/۲^{Bc}	۶/۹±۰/۲^{Dd}
۱٤		۸۰	۲۰	۱۷/۷±۰/۲^{Ba}	۱۵/۱±۰/۲^{Bb}	۱۱/۴±۰/۲^{Bc}	۷/۵±۰/۲^{Cd}
۱۵	۹ درصد	۶۰	۴۰	۱۸/۲±۰/۲^{Aa}	۱۶/۲±۰/۲^{Bb}	۱۱/۵±۰/۲^{Bc}	۸/۲±۰/۲^{Cd}
۱٦		۴۰	۶۰	۱۸/۶±۰/۲^{Aa}	۱۷/۳±۰/۲^{Ab}	۱۲/۳±۰/۲^{Ac}	۹/۳±۰/۲^{Bd}
۱۷		۲۰	۸۰	۱۹/۱±۰/۲^{Aa}	۱۷/۵±۰/۲^{Ab}	۱۲/۴±۰/۲^{Ac}	۱۰/۱±۰/۲^{Ad}
۱۸		۰	۱۰۰	۱۹/۴±۰/۲^{Aa}	۱۸/۱±۰/۲^{Ab}	۱۳±۰/۲^{Ac}	۱۱/۳±۰/۲^{Ad}

در هر سطر اعداد با حروف یکسان کوچک و در هر ستون اعداد با حروف یکسان بزرگ نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح $P<0.05$ می‌باشدPGE:.پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول، PSC: مخلوط ۲۰ به ۸۰ روغن پالم استئارین و کلزا.

پایداری اکسیداتیو

آزمون رنسیمت

آزمون رنسیمت مقاومت اکسایشی چربی و روغن‌ها را در شرایط شتاب یافته بررسی می‌کند و روغن‌های با مقادیر غیراشباع شدگی بالا به‌دلیل سرعت بالاتر واکنش با اکسیژن مقاومت کمتری به این آزمون نشان می‌دهند. در اثر شکست محصولات دوم اکسیداسیون (آلدهید و کتون‌ها) محصولات سوم اکسیداسیون (اسید فرمیک) تشکیل خواهد شد که باعث افزایش هدایت الکتریکی آب مقطر مورد استفاده در دستگاه رنسیمت شده و به‌عنوان شاخص اتمام زمان مقاومت روغن ارزیابی می‌گردد. در جدول ۵ مقادیر مقاومت (بر حسب ساعت) اولئوژل‌های تهیه‌شده با استفاده از مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر ذکر گردیده است. نتایج

ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان مقاومت اکسایشی نمونه های حاوی سطوح مختلف اولئوژلاتور (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود ($P<0.05$). از سوی دیگر، در سطوح الئوژلاتور یکسان، با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور، تفاوت معنی‌داری در مقادیر مقاومت نمونه‌ها مشاهده شد ($P<0.05$). در این خصوص، با افزایش سطح اولئوژلاتور حاوی مونوآسیل گلیسرول از ۳ درصد به ۹ درصد (وزنی/ وزنی) مقادیر مقاومت نمونه‌ها افزایش نشان داد. نکته قابل توجه آن که روند افزایشی مقاومت اولئوژل‌ها منظم نبود. در این خصوص، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی‌گلسیرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مقاومت در سطوح افزوده‌شده یکسان بودند. به عبارت دیگر، در سطوح ۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی، مخلوط‌های دوتایی از اولئوژلاتورهای با نسبت ۸۰ به ۲۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب با ۵۰/۸، ۶۰/۳ و ۶۶ ساعت دارای بیشترین زمان مقاومت بودند. از سوی دیگر، در تمامی نمونه‌ها، اولئوژل‌هایی که نسبت مونوآسیل گلسیرول در تهیه اولئوژلاتورشان ۱۰۰ (و نسبت پلی‌گلیسرول استر صفر) بود، دارای کمترین زمان مقاومت بودند. به‌طورکلی، روند تغییر مقاومت اولئوژل‌ها با تغییر نسبت مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر، ابتدا افزایشی و سپس کاهشی و در انتها با به صفر رسیدن نسبت پلی‌گلیسرول استر، شدیداً کاهشی می‌باشد.

جدول ۵- عدد پراکسید، اسیدهای چرب آزاد و مقاومت در $110^{\circ}C$ اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با نسبت‌های مختلف دوتایی از پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول

تیمار	سطح اولئوژل (وزنی/ وزنی)	PGE	MAG	عدد پراکسید (میلی اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم)	اسید چرب آزاد (٪)	مقاومت در ۱۱۰°C (ساعت)
شاهد PS20: R80	–	–	–	۲/۱±۰/۵^{a}	۲/۱±۰/۵^{a}	۲۷/۵±۰/۷^{l}
۱	۳ درصد	۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۳۵/۲±۰/۸^{i}
۲		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۵۰/۸±۰/۷^{e}
۳		۶۰	۴۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۴۹/۵±۰/۷^{ef}
٤		۴۰	۶۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۴۹/۰±۰/۵^{ef}
٥		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۴۴/۳±۰/۷^{g}
٦		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۳۰/۵±۰/۹^{k}
۷	۶ درصد	۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۴۰/۰±۰/۸^{h}
۸		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۶۰/۳±۰/۷^{b}
۹		۶۰	۴۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۵۸/۹±۰/۷^{c}
۱۰		۴۰	۶۰	۲/۲±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۵۸/۰±۰/۵^{c}
۱۱		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۵۲/۳±۰/۷^{d}
۱۲		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۳۳/۳±۰/۹^{j}
۱۳	۹ درصد	۱۰۰	۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۴۸/۶±۰/۸^{f}
١٤		۸۰	۲۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۶۶/۰±۰/۷^{a}
۱۵		۶۰	۴۰	۲/۲±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۶۵/۵±۰/۷^{a}
١٦		۴۰	۶۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۶۵/۲±۰/۵^{a}
۱۷		۲۰	۸۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۶۰/۴±۰/۷^{b}
۱۸		۰	۱۰۰	۲/۱±۰/۳^{a}	۰/۳۵±۰/۰۱^{a}	۳۵/۳±۰/۹^{i}

در هر ستون اعداد با حروف یکسان نشان‌دهندهٔ عدم معنی‌داری در سطح $P<0.05$ می‌باشد. PGE: پلی‌گلیسرول استر؛ MAG: مونوآسیل گلیسرول.

به‌طورکلی، نتایج به‌دست آمده دارای روند منظمی نسبت به تغییر سطح ترکیبات در مخلوط اولئوژلاتور نمی‌باشد. از سوی دیگر، در تمام اولئوژل‌های تهیه‌شده زمانی‌که در مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور، نسبت مونوآسیل گلیسرول به ۱۰۰ (و نسبت پلی‌گلیسرول استر به صفر) رسید، کم‌ترین زمان مقاومت اکسایشی به ثبت رسید. همان‌طور که قبل‌تر اشاره گردید، در ساختار ترکیبات اولئوژلاتورهای مورد استفاده، گروه‌های هیدروکسیلی آزادی حضور دارند، که قادر به ایفای نقش آنتی‌اکسیدانی هستند. در حقیقت، در هنگام شروع فرایند اکسیداسیون، این ترکیبات با اهدای هیدروژن، اثر پراکسیدهای پدیدار شده را خنثی، و مقاومت روغن را افزایش می‌دهند. حال آن‌که چرا در برخی از مخلوط‌های اولئوژلاتور، مقاومت اکسایشی به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد، به احتمال بسیار بالایی می‌تواند به اثر سینرژیستی که در اثر حضور هم‌زمان پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول ایجاد می‌شود، نسبت داد. مشابه چنین اثر سینرژیستی میان آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی تولوئن و بوتیل هیدروکسی آنیزول نیز مشاهده می‌شود. هنگامی که این دو آنتی اکسیدان هم‌زمان استفاده می‌شوند، قدرت آنتی‌اکسیدانی بیشتری از خود بروز داده و دارای فاکتور حفاظت بالاتری هستند. در حقیقت، در هنگام فرایند اکسیداسیون، یکی از آن‌ها با اهدای هیدروژن به هیدروپراکسیدهای تولیدشده، اثر آن را خنثی و دیگری با بخشیدن هیدروژن به ترکیب آنتی‌اکسیدان و احیای آن، این ترکیب را دوباره به مبارزه با ترکیبات اکسیدانی می‌فرستد. در بررسی حاضر نیز، زمانی که نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتور صفر نیست، اثر سینرژیستی مشاهده می‌شود. با توجه به این مطلب که اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول دارای زمان مقاومت اکسایشی بالایی بودند، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که این ترکیب از قدرت سینرژیستی بالاتری برخوردار است. یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۸) و همچنین Gomes و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که مونوآسیل گلیسرول‌ها قادر به افزایش زمان مقاومت اکسایشی (مقاومت در ۱۱۰$^{\circ C}$) روغن‌ها هستند. لازم به‌ذکر است که در پژوهش‌های مذکور تنها از یک ترکیب به‌عنوان اولئوژلاتور استفاده شده است درحالی‌که در پژوهش فعلی از دو اولئوژلاتور در ترکیبب با یکدیگر استفاده شده است. نادری و همکاران (۲۰۱۸) افزایش مشاهده شده در زمان مقاومت اکسایشی نمونه‌ها را ناشی از افزایش محتوای اسیدهای چرب اشباع در اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول اشباع‌شده (دارای SFA برابر با ۹۹/۵ درصد) دانستند. به‌طورکلی و با بررسی تمامی پژوهش‌های پیشین، نتایج در زمینه مقاومت اکسایشی ضد و نقیض می‌باشد و مستلزم بررسی‌های بیشتری است.

عدد پراکسید

عدد پراکسید نمایان‌گر میزان ترکیبات اولیه ایجاد شده (هیدروپراکسیدها) در اثر اکسایش روغن‌ها می‌باشد. هیدروپراکسیدها اگرچه فاقد بو هستند ولی در اثر شکست این ترکیبات محصولات ثانویه اکسیداسیون نظیر آلدهیدها و کتون که دارای بوی نامطلوبی هستند، تولید می‌شود. ایجاد پراکسید در مراحل اولیه به‌کندی صورت می‌گیرد و این مرحله برحسب نوع روغن،شرایط نگهداری آن، درجه حرارت و عوامل دیگر ممکن است از چند هفته تا چند ماه متغیر باشد که پس از آن تشکیل هیدرو پراکسید تسریع شده و خود به‌عنوان کاتالیزور در تسریع اکسایش روغن شرکت می‌کند. عدد پراکسید اگرچه شاخص مناسبی برای بیان کیفیت کلی روغن نمی‌باشد. اما پیوستگی خطی خوبی با خواص ارگانولپتیکی روغن‌ها و چربی‌ها دارد O'Brien, (2004). در جدول ۵ مقادیر عدد پراکسید اولئوژل‌های تولیدشده با استفاده از اولئوژلاتور حاوی مونوآسیل گلیسرول ذکر گردیده است. نتایج ارزیابی آماری نشان می‌دهد که میان سطوح افزوده‌شده مختلف (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) اولئوژلاتور و همچنین در سطوح افزوده‌شده یکسان اولئوژلاتور به روغن تفاوت معنی‌داری موجود نیست ($P>0.05$). به عبارت دیگر، با افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول (و همچنین کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر) در مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهای افزوده‌شده به روغن، عدد پراکسید اولئوژل‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0.05$). در این زمینه Caponio و همکاران (۲۰۱۱) بیان نمودند، مونوآسیل گلیسرول‌ها در غلظت‌های اندک دارای اثر پرواکسیدانی و در غلظت‌های بالا (بیش از ۳ درصد وزنی/ وزنی)، دارای اثر آنتی‌اکسیدانی هستند، که در تطابق با یافته‌های پژوهش حاضر می‌باشد. آنان این نتایج را چنین تفسیر نمودند که در غلظت‌های اندک، ترکیبات دارای خاصیت امولسیفایری نظیر مونوآسیل گلیسرول باعث کاهش کشش سطحی خواهند شد، که همین امر زمینه را برای حضور هرچه بیشتر اکسیژن در روغن فراهم کرده و آن‌را زودتر اکسید می‌نماید (نقش پرواکسیدانی). از سوی دیگر، در غلظت‌های بالا، این ترکیبات به‌صورت لایه‌ای مسطح بر سطح روغن قرار گرفته و از طریق گروه‌های هیدروکسیلی‌شان اکسیژن را جذب و از حضور آن در روغن جلوگیری می‌نمایند (نقش آنتی‌اکسیدانی). از آن‌جا که در پژوهش حاضر از سطوح بالا (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) استفاده شده است، عدم تغییر در عدد پراکسید را می‌توان به اثر آنتی اکسیدانی اولئوژلاتورهای مورد استفاده در سطوح بالای افزوده‌شده (بیش از ۳ درصد) نسبت داد. در این زمینه، Paradiso و همکاران (۲۰۱۴)، Colakoglu (۲۰۰۷) و Mistry و Min (۱۹۹۸) نتایجی مشابه گزارش نمودند. برخلاف تمامی پژوهش‌های مذکور، Gomes و همکاران (۲۰۱۰) عنوان داشتند که افزودن مونوآسیل گلیسرول در سطوح پایین منجر به بهبود پایداری اکسیداتیو خواهد شد. این نتیجه ضد و نقیض را می‌توان به نوع مونوآسیل گلیسرول مورد استفاده نسبت داد. در این جا ذکر این نکته ضروری است که فرایند تهیه ترکیبات اولئوژلاتور (که می‌تواند فرایند تقطیر و صابونی‌شدن باشد) و همچنین منبعی که از آن تهیه می‌شود، اثر بسزایی بر خواص عملکردی آن‌ها خواهد گذاشت. بر اساس گزارش

Gomes و همکاران (۲۰۱۰)، مونوآسیل گلیسرول مورد استفاده در پژوهش آنان، از فرایند صابونی‌شدن روغن زیتون به‌دست آمده است. با توجه به حضور ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فراوان در روغن زیتون، می‌توان عنوان کرد در هنگام استخراج مونوآسیل گلیسرول‌ها از این روغن، مقداری آنتی‌اکسیدان نیز همراه با آن وارد می‌شود که افزایش مقاومت اکسایشی به‌وجود آمده در اثر افزودن غلظت کم مونوآسیل گلیسرول‌ها را می‌توان به این ترکیبات نسبت داد.

اسیدهای چرب آزاد

درصد اسید چرب آزاد نشان‌گر فساد هیدرولتیک روغن‌ها می‌باشد. این ترکیبات همچنین از محصولات ثانویه‌ی اکسایش روغن و چربی‌ها می‌باشند (O'Brien, 2004). چربی‌های خوراکی اعم از حیوانی و نباتی دارای مقدار معین و جزئی اسید چرب آزاد هستند ولی ممکن است در اثر عوامل فساد و رخ دادن واکنش هیدرولیز این مقدار از حد معین تجاوز نماید. با افزایش مقدار اسید چرب آزاد در روغن نقطه دود کاهش می‌یابد. مقادیر اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌های تولیدشده با استفاده از اولئوژلاتورهای حاوی مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب در جدول ۵ ذکر گردیده است. همانند یافته‌های مشاهده‌شده برای عدد پراکسید، ارزیابی آماری حاکی از آن است که میان سطوح مختلف (۳، ۶ و ۹ درصد وزنی/ وزنی) اولئوژلاتور افزوده‌شده به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا و همچنین در سطوح یکسان اولئوژلاتور تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P>0.05$). قابل ذکر است که با کاهش نسبت پلی‌گلیسرول استر و همچنین افزایش نسبت مونوآسیل گلیسرول در مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهای افزوده‌شده به روغن، اسیدهای چرب آزاد اولئوژل‌ها تفاوت معنی‌داری نشان نداد ($P>0.05$). در این زمینه، نادری و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند که حضور ۳ و یا ۵ درصد وزنی/ وزنی مونوآسیل گلیسرول منجر به افزایش اسیدهای چرب در طی آزمون شال خواهد شد. در این زمینه، Zhang و همکاران (۲۰۱۵) و Krishnamurthy (۱۹۸۲) عنوان نمودند که ترکیبات دارای گروه‌های هیدروکسیلی آزاد دارای نقش کاتالتیکی در هیدرولیز چربی‌ها هستند. همچنین، Vichi (۲۰۰۳) بیان داشت اثر ترکیبات مذکور در دماهای نسبتاً ملایم و زمان‌های طولانی بیشتر است.

ویژگی‌های رئولوژیکی (آزمون روبش دما) مدول‌های ویسکوز و الاستیک

مدول الاستیک (ذخیره)، مقدار انرژی ذخیره شده یا بازیافت شده طی هر سیکل تغییر شکل را نشان می‌دهد. بنابراین، برای یک ماده کاملاً جامد، تمام انرژی در آن ذخیره گشته و تنش و کرنش اعمال شده، هم‌فاز هستند. مدول ویسکوز (افت) نشان‌دهنده مقدار انرژی تلف شده (به‌صورت گرما در اثر اصطکاک بین مولکول‌ها) است، بنابراین برای یک ماده کاملاً مایع، تمام انرژی به‌صورت گرما تلف شده و مقدار مدول الاستیک (ذخیره) صفر بوده و در نتیجه، بین تنش و کرنش اعمال شده °۹۰ اختلاف فاز وجود خواهد داشت. در شکل ۱ مدول ویسکوز (G'') و الاستیک (G') اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌های اولئوژل مقادیر مدول الاستیک از مدول ویسکوز بیشتر می‌باشد که این مطلب حاکی از آن است که اولئوژل‌های تولیدشده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر دارای خواص شبه جامد بیشتری هستند. با توجه به شکل ۱، اولئوژل‌های تهیه‌شده از مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور به‌ترتیب با نسبت ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. پس از اولئوژل مذکور، نمونه‌های اولئوژل تهیه شده از مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور با نسبت ۰ به ۱۰۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول و در نهایت ۶۰ به ۴۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول به‌ترتیب دارای بیشترین مدول الاستیک بودند. یافته‌های رئولوژیکی به‌دست آمده در تطابق با نتایج نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC اولئوژل‌ها بود. به عبارت دیگر، نقطه ذوب لغزشی اولئوژل‌ها در حدود $۴۰^{\circ C}$ بود که منحنی‌های رئولوژیکی به‌دست آمده تاییدکننده این مطلب می‌باشد. همچنین، در دمای $۳۵^{\circ C}$، اولئوژل‌ها دارای SFC در حدود ۴ تا ۵ درصد بودند. این مطلب در تطابق با منحنی‌های مدول الاستیک به‌دست آمده برای اولئوژل‌ها در در دمای ۳۵ تا $۴۰^{\circ C}$ می‌باشد. با توجه به نقطه ذوب نمونه‌ها (حدود $۴۰^{\circ C}$)، به دلیل ذوب کامل (غالب شدن رفتار مایع‌گونه)، منحنی مدول الاستیک نمونه‌های اولئوژل پس از این دما، ناپدید خواهد شد.

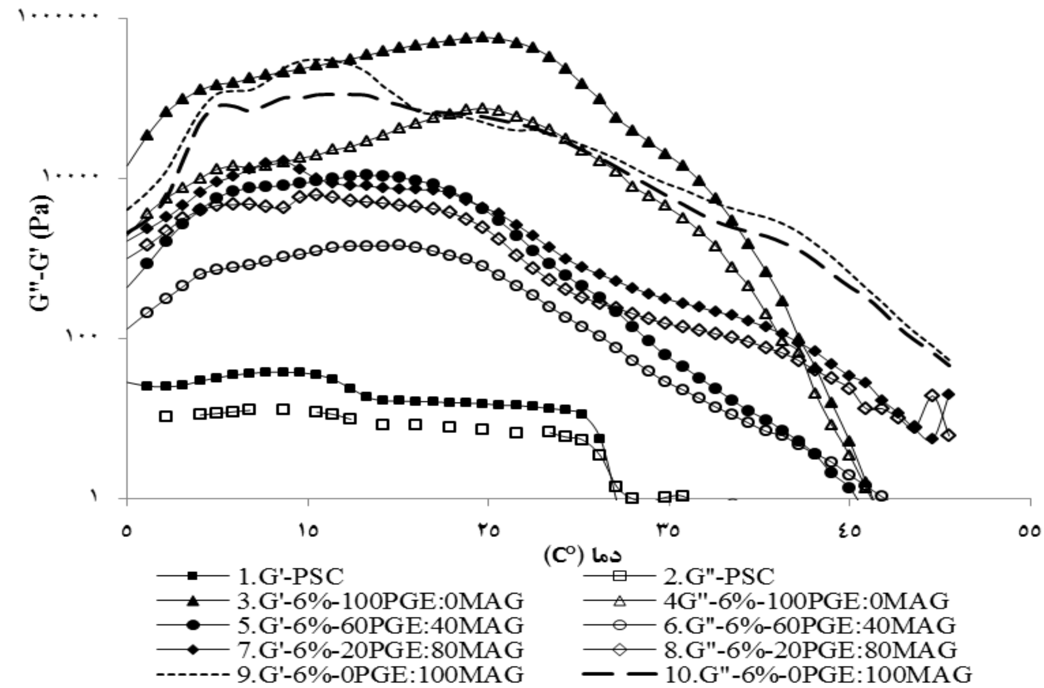
مدول کمپلکس

مدول کمپلکس که در معادله ۱ نشان داده شده است، عبارت است از نسبت تنش نوسانی به کرنش نوسانی و نشان‌دهنده مقاومت کلی یک ماده به کرنش اعمال شده است.

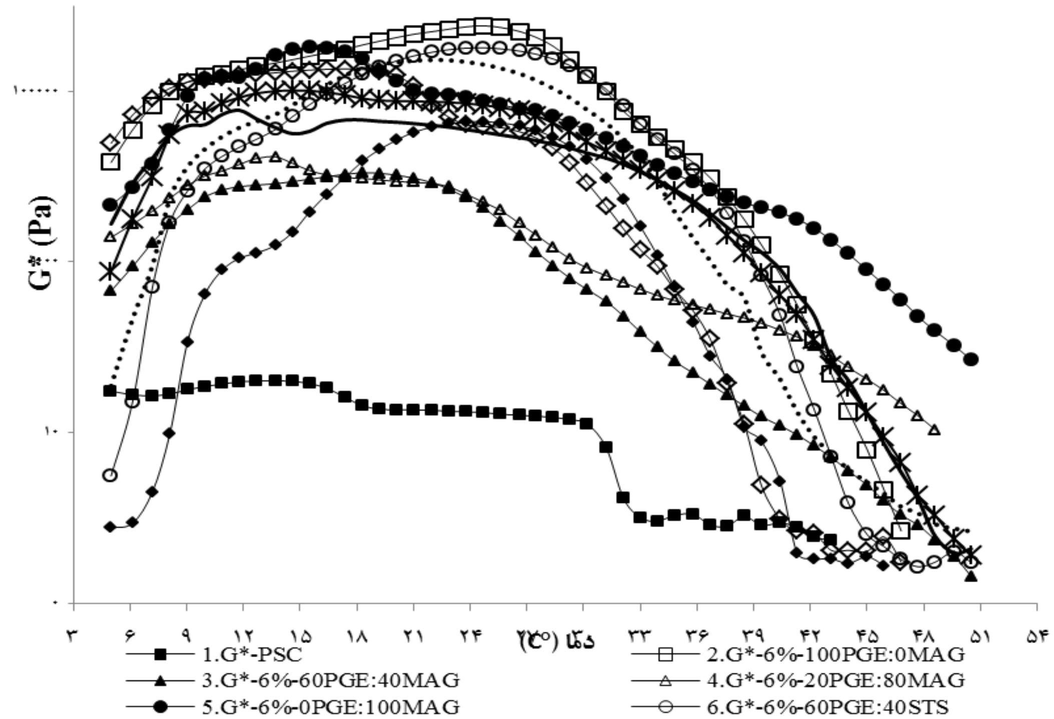
$$G^{*} = \sqrt{(G')^2 + (G'')^2} \quad (۱)$$

در شکل ۲ منحنی مدول کمپلکس (G*) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نشان داده شده است.

همان‌طور که قبل‌تر ذکر شد، مدول کمپلکس نشان‌گر سختی نمونه‌ها می‌باشد. از آن‌جا که در سنجش مدول کمپلکس، مؤلفه‌های ویسکوز و الاستیک نیز در نظر گرفته شده است، نتایج مدول کمپلکس قابل تعمیم به مدول‌های مذکور نیز می‌باشد.



شکل ۱- مدول ویسکوز (G'') و الاستیک (G') اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG).



شکل ۲- مدول کمپلکس (G*) اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی-گلیسرول استر با مونوآسیل گلیسرول و سوربیتان مونواستئارات (PGE:MAG و PGE:STS)

بنابراین، در شکل ۲ مدول کمپلکس تمامی اولئوژل‌های تولیدشده با مونوآسیل گلیسرول با یکدیگر مقایسه شده‌اند، تا ضمن بررسی سختی آن‌ها، مدول ویسکوز و الاستیک سایر اولئوژل‌های تهیه‌شده با یکدیگر مقایسه شود. با توجه به شکل۲، اولئوژل تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور ۱۰۰ به صفر پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل لیسرول دارای بیشترین مدول کمپلکس بودند. پس اولئوژل مذکور، نمونه‌های تهیه‌شده با مخلوط‌های دوتایی اولئوژلاتور با نسبت صفر به ۱۰۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول، ۶۰ به ۴۰ پلی‌گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول و در نهایت مخلوط روغن کلزا و پالم استئارین دارای بیشترین سختی (مدول کمپلکس) بودند. با توجه به مؤلفه‌هایی که مدول کمپلکس در بر می‌گیرد، توالی ذکر شده در بالا قابل تعمیم برای مدول الاستیک تمامی اولئوژل‌ها نیز می‌باشد. به‌طورکلی، منحنی مدول کمپلکس دارای روند منظمی که وابسته به نسبت مونوآسیل گلیسرول به‌کار گرفته‌شده در اولئوژلاتورها باشد، نیستند. با این وجود، مشاهده می‌شود که زمانی که نسبت مورد استفاده از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر در تهیه اولئوژلاتورها نسبتاً برابر باشد، اولئوژل‌های تولیدی از سختی بالایی بر خوردار نیستند. به‌همین دلیل، اولئوژلاتورهای تهیه‌شده از نسبت‌های ۶۰ به ۴۰ و یا ۴۰ به ۶۰، منجر به تولید اولئوژل‌هایی شدند که دارای کم‌ترین سختی نسبت به سایرین بودند. از سوی دیگر، مخلوط دوتایی اولئوژلاتورهایی که دارای نسبت ۰ به ۱۰۰ ، ۱۰۰ به ۰، ۲۰ به ۸۰ و ۸۰ به ۲۰ بودند، بیشترین سختی را به نمایش گذاشتند. دلیل این پدیده می‌تواند به برهم‌کنش‌های مولکولی که در حین اختلاط این ترکیبات ایجاد می‌شود، نسبت داده شود.

زاویه فاز

تابع مهمی که برای توصیف رفتار ویسکوالاستیک مواد به‌کار می‌رود، تانژانت تغییر فاز یا زاویه فاز (تانژانت دلتا) نام دارد. زاویه فاز که در معادله ۲ نشان داده شده است، عبارت است از آرک تانژانت نسبت مدول ویسکوز به مدول الاستیک که از صفر تا ۹۰°C متغیر می‌باشد. هر چه زاویه فاز به صفر درجه سانتی‌گراد نزدیک‌تر باشد، مولفه الاستیک غالب‌تر و هرچه به ۹۰°C نزدیک‌تر باشد، مولفه ویسکوز غالب‌تر است. بنابراین، عبور زاویه فاز از مقدار ۴۵°C نشان‌دهنده غالب شدن مولفه ویسکوز نسبت به مولفه الاستیک است.

$$\tan \delta = \text{Arc}\tan \frac{G''}{G'} \qquad (۲)$$

در شکل ۳ زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ۶ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. مشابه با یافته‌های پیشین در مورد مدول الاستیک و مدول کمپلکس، نسبت‌های ۱۰۰ به صفر و ۲۰ به ۸۰ پلی‌گلیسرول استر و مونو آسیل گلیسرول دارای مقاومت بالاتری بوده و دیرتر نسبت به سایر نمونه‌ها خواص مایع‌گونه پدیدار ساختند. شایان ذکر است، زمانی که مقادیر مدول ویسکوز و الاستیک برابر گردد (G''=G'=1)، تحت عنوان نقطه ژلی‌شدن و کراس‌اُور[1] از آن یاد می‌گردد. به عبارت دیگر، دمایی که در آن مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند ($G' = G''$) به‌عنوان نقطه ذوب شدن در نظر گرفته می‌شود که به آن دمای عبور نیز گویند. به بیانی دیگر، در هنگام ذوب شدن اولئوژل‌ها، دمایی که در آن مدول‌های دینامیکی تقاطع پیدا کرده و از روی یکدیگر عبور می‌کنند (دمای کراس‌اُور)، نشانه‌ای از نرم‌شدن اولئوژل و شروع ذوب و جریان یافتن آن می‌باشد. در حقیقت، هر چه منحنی زاویه فاز اولئوژل دیرتر این خط را قطع کند (مقدار تانژانت دلتا از ۱ عبور کند)، دارای انسجام بیشتری بوده و خصوصیات جامدگونه خود را برای مدت طولانی‌تری در مقابل افزایش دما حفظ می‌کند. همان‌طورکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زاویه فاز مربوط به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا در دمای بسیار کم‌تری نسبت به سایر اولئوژل‌ها خط ۱ را قطع می‌نماید. از این امر چنین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا (فاقد اولئوژلاتور) نسبت به سایر اولئوژل‌ها دارای خواص مایع گونه غالب‌تری نسبت به خواص جامدگونه می‌باشد.

با توجه به این مطلب که کم‌ترین میزان مدول‌های الاستیک و کمپلکس مربوط به مخلوط روغن پالم استئارین و کلزا می‌باشد (فاقد ترکیبات اولئوژلاتور)، می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که استفاده از اولئوژلاتور مونوآسیل گلیسرول نقش بسزایی در ایجاد استحکام بافت و افزایش مدول الاستیک و کمپلکس ایفا کرده است. به‌طورکلی، اولئوژل‌های تولیدی دارای خواص جامدگونه غالب‌تری نسبت به روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا بودند. منحنی‌های رئولوژیکی ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و همچنین زاویه فاز به‌دست آمده برای تمامی اولئوژل بر پایه مونوآسیل گلیسرول در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵°C کاملاً پدیدار بوده و از بین نرفته‌اند. این مطلب حاکی از آن است که اولئوژل‌های تولیدی دارای مقاومت گرمایی بالایی بوده و در محدوده دمایی نسبتاً بالایی خواص خود را حفظ می‌نمایند. در حقیقت، ماهیت الاستیک این مخلوط‌ها در این محدوده دمایی غالب است. چربی‌های پلاستیک (مانند مارگارین‌ها و شورتنینگ‌ها) G' بالاتری نسبت به G'' دارند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت اولئوژل‌های تولیدی چربی‌هایی پلاستیک هستند. از آن‌جا که خواص فیزیکی نظیر نقطه ذوب لغزشی و درصد SFC به‌صورت مستقیم در ارتباط با بافت ماده می‌باشند،

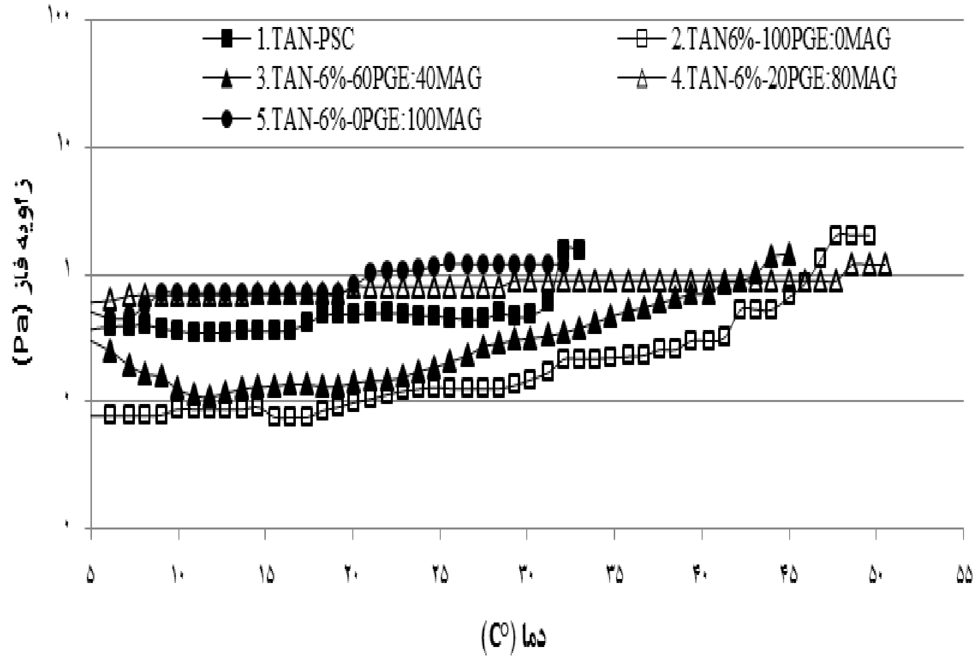
---

1 Crossover

بنابراین همبستگی بالایی با خواص رئولوژیکی داشته و نتایج آن قابل تعمیم است.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، اولئوژل‌های تهیه شده با مونوآسیل گلیسرول درصد SFC و نقطه ذوب لغزشی بالایی داشتندکه همین مطلب در مقادیر مدول‌های الاستیک و کمپلکس و همچنین زاویه فاز آن‌ها نمود پیدا کرده است. Patel و همکاران (۲۰۱۵) بیان داشتند برای این که چربی‌های ساختار یافته دارای خواص مطلوب و کاربردی مناسب باشند، می‌بایست حداقل مدول الاستیکی در دامنه $۱۰^{۴}$ تا $۱۰^{۵}$ پاسکال داشته باشند. نکته حائز اهمیت آن است که اولئوژلاتورهای مونوآسیل گلیسرول قادر بودند تا مدول الاستیک روغن پایه (فاقد اولئوژلاتور) را از کم‌تر از ۱۰۰ پاسکال به $۱۰^{۴}$ تا $۱۰^{۵}$ پاسکال افزایش دهند. با توجه به شکل ۴-۱ تمامی اولئوژل‌های تولیدی دارای مدول الاستیکی بین محدوده $۱۰^{۴}$ تا $۱۰^{۵}$ پاسکال هستند؛ که همین امر خواص تکنیکی آن را برای استفاده در محصولات چرب میسر می‌سازد.

Peyronel و Marangoni (۲۰۱۴) به بررسی مخلوط‌های چربی پایدار به حرارت که در محصولات قنادی کاربرد دارند، پرداختند. آن‌ها گزارش نمودند که مخلوط ۲۵ به ۷۵ درصد سوربیتان مونواستئارات و روغن هسته پالم هیدروژنه در دمای ۴۰°C دارای مدول الاستیک $۳×۱۰^{۵}$ پاسکال می‌باشد. به‌طورکلی نتایج به‌دست آمده در پژوهش حاضر در تطابق با یافته‌های نادری و همکاران (۲۰۱۶) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول بر چربی مرغ، نادری و همکاران (۱۳۹۴)، که اثر افزودن مونوآسیل گلیسرول بر روغن آفتابگردان، Lupi و همکاران (۲۰۱۲) که به بررسی اثر مونوآسیل گلیسرول به‌عنوان ترکیب ژل‌ساز بر روی ترکیب روغن‌های کره کاکائو و روغن زیتون و Lupi و همکاران (۲۰۱۳) که به بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی اولئوژل تهیه شده از روغن زیتون پرداختند، بود.



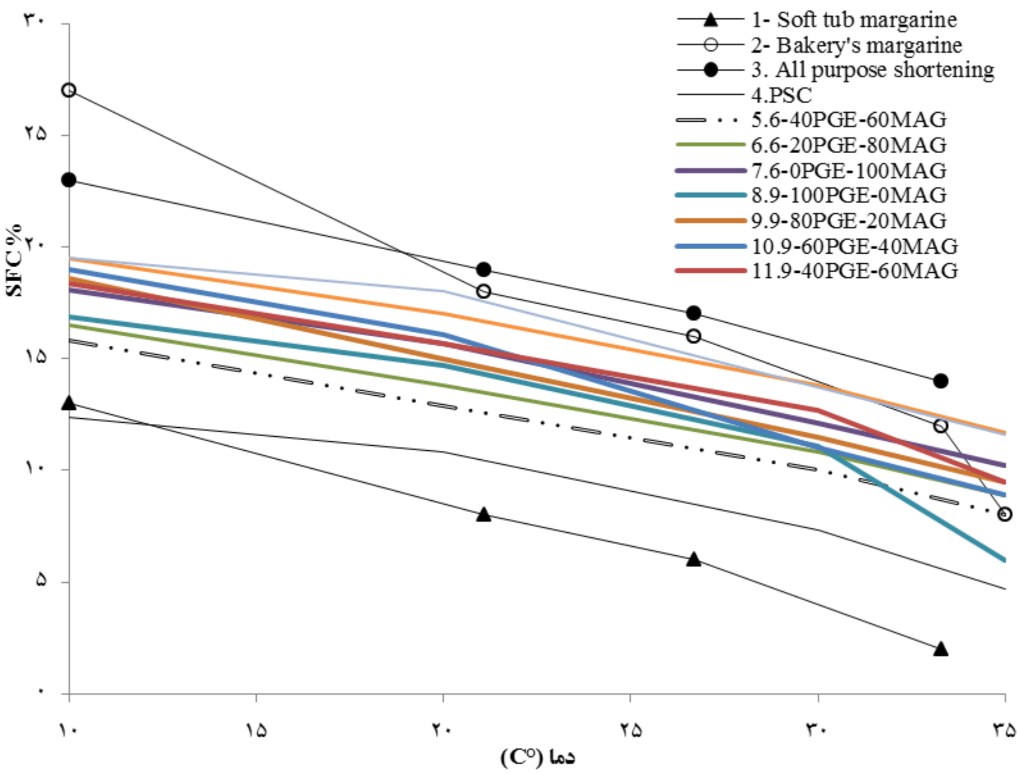
شکل ۳- زاویه فاز اولئوژل روغن ترکیبی پالم استئارین و کلزا مخلوط‌شده با سطح ٦ درصد (وزنی/ وزنی) از نسبت‌های مختلف پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول (PGE:MAG)

پتانسیل کاربرد اولئوژل‌های تولیدی

پس از بررسی خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول، حال به بررسی کاربردهای آنان در تولید محصولات چرب خواهیم پرداخت. از آن‌جا که قوام و پلاستیسیته چربی‌ها متأثر از درصد SFC آن‌ها می باشد، بنابراین محصولات چرب با درصد SFC مشابه ویژگی‌های یکسانی از خود نشان می‌دهند. بنابراین، منحنی SFC اولئوژل‌های تولیدی در کنار منحنی SFC برخی چربی‌های تجاری رسم شد. در صورتی‌که تطابق و هم‌پوشانی بین منحنی‌های موارد مذکور مشاهده شود، می‌توان از آن‌ها برای تولید چربی‌های تجاری استفاده نمود. در شکل ۴ منحنی‌های SFC برخی چربی‌های تجاری و همچنین اولئوژل‌های تولیدشده بر پایه مونوآسیل گلیسرول نمایش داده شده است. به‌منظور بررسی پتانسیل کاربردی

اولئوژل‌های تولیدی، منحنی درصد SFCآن‌ها در کنار برخی چربی‌های تجاری شامل، مارگارین ظرفی نرم، مارگارین نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره رسم گردید (Ghotra, 2002). پس از آن، منحنی‌های درصد SFC اولئوژل‌ها و چربی‌های تجاری که از یکدیگر افتراق زیادی داشت حذف گردید و در نهایت تنها منحنی‌های اولئوژل‌هایی باقی ماند که دارای تشابه بیشتری با چربی‌های تجاری هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مخلوط روغن کلزا و پالم استئارین در تولید مارگارین ظرفی نرم، اولئوژل‌های تولیدشده با سطح افزوده‌شده ۶ و ۹ درصد اولئوژلاتور با نسبت‌های (۰ به ۱۰۰)، (۲۰ به ۸۰)، (۴۰ به ۶۰)، (۶۰ به ۴۰)، (۸۰ به ۲۰) و (۱۰۰ به ۰) پلی‌گلیسرول استر و مونوآسیل گلیسرول در تولید مارگارین نانوایی و شورتنینگ چندمنظوره کاربرد خواهند داشت.

مارگارین ظرفی نرم[1] باید در خارج از یخچال و فریزر به راحتی پخش شود، از این‌رو نسبت چربی جامد به مایع کمتری در مقایسه با مارگارین سخت[2] دارد. شورتنینگ همه‌منظوره به دو شکل دارای امولسیفایر و فاقد آن تولید می‌شود. شورتنینگ‌های همه‌منظوره غیر امولسیونی به‌طور مشخص در آشپزی، تولید کراکرها و سرخ کردن استفاده می‌شوند، در حالی‌که انواع امولسیونی مشخصاً برای تولید کیک و شیرینی‌پزی مناسب هستند (در شرایطی که به دام انداختن هوا در سیستم شورتنینگ مورد نظر است). مارگارین‌های نانوایی باید بافت، تردی، احساس دهانی، قابلیت به دام انداختن هوا و انتقال حرارت مطلوب را در محصولات نانوایی فراهم آورند (Ghotra, 2002).



شکل ٤-٤- منحنی درصد SFC اولئوژل‌های بر پایه مونوآسیل گلیسرول و برخی چربی‌های تجاری

نتیجه‌گیری

الزام برای حذف روغن‌های هیدروژنه و جایگزینی چربی‌های سالم‌تر با حداقل میزان اسیدهای چرب اشباع و ترانس، محققان و شرکت‌های تولید کننده را در چالشی برای شناسایی و جایگزینی روش‌های مناسب تولید روغن‌ها و چربی‌های سالم‌تر با پایداری بالاتر قرار داده است.با توجه به کاربرد بسیار فراوان شورتنینگ‌ها در صنایع قنادی و آردی و اشباعیت بالای آن و به‌دنبال آن ایجاد بیماری‌های مختلف مانند بیماری‌های قلبی- عروقی، استفاده از تکنیک اورگانوژل در تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین را می‌تواند پژوهشی نو در ارتقاء سلامت مصرف کنندگان تلقی نمود. لذا در این تحقیق، از تکنیک اورگانوژل¬سازی مبتنی بر مونو¬آسیل گلیسرول و پلی¬گلیسرول استر به‌منظور تولید شورتنینگ با میزان اشباعیت پایین استفاده شد.

1 Soft tub margarine

2 Stick margarine

بدین‌منظور، یک گروه مخلوط دوتایی متشکل از ۲۰٪ روغن پالم استئارین و۸۰٪ روغن کلزا ساخته شد، به‌طوری‌که درصد اسیدهای چرب اشباع در ترکیب نهایی ۲۰٪ گردید. اورگانوژلاتورهایی که ترکیبی از مونوآسیل گلیسرول و پلی‌گلیسرول استر بودند، در ۶ نسبت دوتایی (۰-۱۰۰)، (۲۰-۸۰)، (۴۰-۶۰)، (۶۰-۴۰)، (۸۰-۲۰) و (۱۰۰-۰) مخلوط و در سه غلظت ۳، ۶ و ۹ درصد (وزنی/ وزنی) به ترکیب روغن اولیه افزوده شدند و خواص فیزیکوشیمیایی آن‌ها مانند ترکیب اسیدهای چرب، نقطه‌ی ذوب لغزشی، درصد چربی جامد، عدد پراکسید، درصد اسید چرب آزاد و همچنین خواص رئولوژیکی شامل مدول‌های ویسکوز، الاستیک، کمپلکس و زاویه فاز بررسی گردیدند. نتایج نشان داد که اولئوژل‌های تولیدی پتانسیل بالقوه‌ای در تولید مارگارین‌های نانوایی و شورتنینگ‌های چندمنظوره دارند.

منابع

نادری، م.، فرمانی، م.، رشیدی، ل. (۱۳۹۴). بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی اولئوژل روغن آفتابگردان. علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران. ۱۰ (۴)، ۱۲۵-۱۳۵.

AOCS 1996. Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society, Champaign, AOCS Press.

Basso, R. C., Ribeiro, A. P. B., masuchi, M. H., gioielli, L. A., Goncalves, L. A. G., Santos, A. O. D., Cardoso, L.P. Grimaldi, R. (2010). Tripalmitin and monoacylglycerols as modifiers in the crystallisation of palm oil. *Food Chemistry* 122**,** 1185-1192.

Caponio, F., Paradiso, V., Bruno, G., Summo, C., Pasqualone, A., Gomes, T. (2011). Do monoacylglycerols act as pro-oxidants in purified soybean oil? Evidence of a dose-dependent effect. *Italian Journal of Food Science*, 23, 239-245.

Chen, B., Mcclements, D. J., Decker, E. A. (2014). Impact of diacylglycerol and monoacylglycerol on the physical and chemical properties of stripped soybean oil. *Food Chemistry* 142, 365-372.

Colakoglu, A. S.(2007). Oxidation kinetics of soybean oil in the presence of monoolein, stearic acid and iron. *Food Chemistry* 101, 724–728.

Gaudino, N., Ghazani, S. M., Clark, S., Marangoni, A. G., Acevedo, N. C. (2019). Development of lecithin and stearic acid based oleogels and oleogel emulsions for edible semisolid applications. *Food research International*116, 79-89.

Ghotra, B. S., Dyal, S. D., NarineS. S. (2002). Lipid shortenings: a review. *Food Research International* 35 (10), 1015-1048.

Gomes, T., Caponio, F., Bruno, G., Summo, C., Paradiso, V. M. (2010). Effects of monoacylglycerols on the oxidative stability of olive oil.*Journal of the Science of Food and Agriculture*90, 2228–2232.

Husaini, Z. (1999). Conventional methods for food analysis. 3rd Edition. Shiraz University Press.

Jang, A., Bae, W., Hong, H., Hyeon, G., Lee, S. (2015). Evaluation of canola oil oleogels with candelilla wax as an alternative to shortening in baked goods. *Food Chemistry* 187, 525–529.

Jirasubkunakorn, W., Bell, A. E., Gordon, M. H., Smith, K.W.(2006) .Effect of variation in palm stearin: palm olein ratio onthe crystallisation of a low- trans shortening. *Food Chemistry* 103, 477-485.

Krishnamurthy, R. G. (1982). Cooking oils, salad oils and salad dressings. Bailey's Industrial Oil and Fat Products. 4th Edition. New York.

Krog, N. (2001).Crystallization Properties and Lyotropic Phase Behavior of Food Emulsifiers. in Garti N, Sato K. editors . Crystallization Processes in Fats and Lipids Systems, NewYork: Marcel Dekker Inc. 505-526.

Lupi, f. R., gabriele, d., facciolo, d., baldino, n., seta, l.,De Cindio, b. (2012). effect of organogelator and fat source on rheological properties of olive oil-based organogels.*Food research international* 46**,** 177-184.

Lupi, F. R., Gabriele, D., Greco, V., Baldino, N., Seta, L., De Cindio,B. (2013) A rheological characterisation of an olive oil/fattyalcohols organogel. *Food Research International*51(2), 510-517.

Martini, S., Herrera, M. L., Hartel, R. W. (2002). Effect of processing conditions on microstructure of milk fat fraction/sunflower oil blends.*Journal of the American Oil Chemists' Society*79(11), 1063-1068.

Maruyama, J. M., Soares, F. A., D'Agostinho, N. R., Goncalves, M. I.,Gioielli, L. A., Da Silva, R. C. (2014). Effects of emulsifier addition on the crystallization and melting behavior of palm olein and coconut oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62(10), 53-63.

Metzroth, D. J. (2004). Bailey's industrial oil and fatproducts.6thEdition. Vol 4. New Jersey: John Wiley & Sons و83-125.

Mistry, B. S., Min, D. B. (1988). Prooxidant Effects of Monoglycerides and Diglycerides in Soybean Oil.*Journal of Food Science*53, 1896–1897.

Naderi, M., Farmani, J., Rashidi, L. (2016). Structuring of Chicken Fat by Monoacylglycerols. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 93, 1221–1231.

Naderi, M., Farmani, J. Rashidi, L. (2018). The impact of saturated monoacylglycerols on the oxidative stability of Canola oil under various time/temperature conditions. *Grasas Aceites* 69, 267.

O'Brien,R. D.(2004) Fats and oils: Formulating and processing for applications, 2edEdition: crc press.

Ogütcüa, M. Yılmaz, E. (2014). Oleogels of virgin olive oil with carnauba wax and monoglyceride as spreadable products. *Grasas y Aceites* 65(3).

Paradiso, V. M., Caponio, F., Bruno, G., Pasqualone, A., Summo, C., Gomes, T. (2014). Complex role of monoacylglycerols in the oxidation of vegetable oils, different behaviors of soybean monoacylglycerols in different oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*62, 10776–10782.

Pernett,i M., Van Malssen, K., Kalnin, D., Flöter, E. (2007). Structuring edible oil with lecithin and sorbitan tri-stearate. *Food Hydrocolloid*21, 855-861.

Patel, A. R., Dewettinck, K. (2015). Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel, and HIPE gel. *European journal of lipid science and technology* 117 (11), 1772-1781.

Peyronel, F., Marangoni, A. G. (2014). In search of confectionary fat blends stable to heat: hydrogenated palm kernel oil stearin with sorbitan monostearate. *Food Research International* 55, 93-102.

Saberi, A., Lai, O. M., Miskandar, M. (2012). Melting and Solidification Properties of Palm-Based Diacylglycerol, Palm Kernel Olein, and Sunflower Oil in the Preparation of Palm-Based Diacylglycerol-Enriched Soft Tub Margarine. *Food and Bioprocess Technology.* 5**,** 1674-1685.

Tarrago-Trani, M. T., Philips, K. M., Lemar, L. E., Holden, M.(2006) .New and existing oils and fats used in products withreduced trans-fatty acid content. *Journal of the American Dietetic Association*106(6): 867-880.

Verstringe, S., Danthine, S., blecker, C., Depypere, F., Dewettinck. K. (2013). Influence of monopalmitin on the isothermal crystallization mechanism of palm oil. *Food Research International*51**,** 344-353.

Vichi, S., Pizzale, L., Conte, L. S., Buxaderas, S., Lopez-Tamames, E. (2003). Solid-phase microextraction in the analysis of virgin olive oil volatile fraction, modificationsinduced by oxidation and suitable markers of oxidative status. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*51, 6564–71.

Yi, B., Mi-Ja, K. 1., Su, Y., Lee, H. (2017). Physicochemical properties and oxidative stability of oleogels made of carnauba wax with canola oil or beeswax with grapeseed oil. *Food Science and Biotechnology* 26(1), 79-87.

Yılmaz, E., Öğütcü, M. (2015). The texture, sensory properties and stability of cookies prepared with wax oleogels.*Food and function6*(4), 1194-1204.

Zhang, Z., Wang, Y., Ma, X., Wang, E., Liu, M., Yan, R. (2015). Characterisation and oxidation stability of monoacylglycerols from partially hydrogenated corn oil.*Food Chemostry* 173, 70-79.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 17, No. 1, Apr. May. 2021, p. 187- 204

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۷، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۰ ص.۲۰۴-۱۸۷

Production and evaluation of physicochemical and rheological properties of monoacylglycerol and polyglycerol ester-based Oleogels as a low saturated shortening

R. Mahjoub[1], V. Hakimzadeh[1*], E. Ataye Salehi[1], J. Farmani[2]

Received: 2020.04.22
Accepted: 2020.06.06

Introduction: The solidification of edible oils via some techniques like hydrogenation is always accompanied by an increase in the amounts of saturated fatty acids (SFA) and trans fatty acids (TFA). Such fatty acids play a crucial role in cardiovascular diseases which put health of consumers at risk. Today, various techniques are applied to reduce the amounts of SFA and TFA in fatty-based products. These techniques are including the blending of some fats, esterification and recently oleogel system. In this study, some oleogel systems prepared by mixing monoacyleglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) and adding to a mixture of 20% palm stearin oil and 80% rapeseed oil to decrease saturation in shortening were studied.

Materials & Methods: This research was conducted to investigate the structuring effect of mono-acilglycerol (MAG) and polyglycerol ester (PGE) to formulate some fatty-based product. For this purpose, various binary mixtures (VBM) of PGE:MAG were added to base oils (80% Canola Oil and 20% Palmestearin Oil) at concentrations of 3, 6 and 9 (wt %) with ratios of 0:100, 20:80, 40:60, 60:40, 80:20, 100:0.

Result and Discussion: The results showed that saturated fatty acid (SFA), slip melting point (SMP) and solid fat content (SFC) increased with an increase in the VBM of MAG. MAG did not affect peroxide value and the free fatty acids. Rancimat test presents contradictory results. The rheological analysis revealed that G'', G', G* and tan δ of the base oil were increased to 10^5 Pa. With proper plasticity and low SFA, MAG-based fats can be applicable in the production of some fatty-based products like bakery margarine and all-purpose shortening.

Due to the necessity of reduction in SFA content and TFA content in fatty-based products, researchers and producers have prompted to identify the applicable techniques for producing healthy fats. This study was set up in order to introduce the structured fats with low-SFA/TFA suitable in the formulation of shortenings and margarine.

Keywords: Low-saturated Shortening, Oleogel, Monoacylglycerol, Polyglycerol ester, Physicochemical properties, Rheological properties.

1 Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran
2 Department of Food Science and Technology, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, PO Box: 578.
(*Corresponding Author Email: v.hakimzadeh@yahoo.com)